

氏 名	蘇 志 鋒
生 年 月 日	
本 籍	中国
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第 640 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	課程博士（学位規則第 4 条第 1 項）
学位授与の題目	CCD レーザ変位計測定システムによる布の防しわ性の客観的評価に関する研究
論文審査委員(主査)	松平 光男（教育学部・教授）
論文審査委員(副査)	新宅 救徳（工学部・教授） 内山 吉隆（工学部・教授） 岩田 佳雄（工学部・教授） 喜成 年泰（工学部・助教授）

学 位 論 文 要 旨

Abstract

The method evaluating the wrinkle resistance objectively with the CCD laser displacement sensor (CCD-LDS) system was described in this paper. A CCD was employed as the light-receiving element in the system, of which sensor enables to obtain the stably, highly accurate displacement measurement, regardless of the light quantity distribution of the beam spot. The wrinkle grades of standard replicas and fabrics were measured and analyzed with the system, which was an excellent tool for investigating 3-D surface shapes of wrinkles. The contours of wrinkle surfaces were also analyzed with the fractal method. Following conclusions were obtained: it provided the high precision for measuring wrinkle shapes; fractal dimensions of wrinkle surfaces could quantify the wrinkle grades of replicas. Then, the method to objectively evaluate and to predict the wrinkle resistance using the neural network was proposed in this paper. The wrinkle resistance could be predicted by use of their textural features and mechanical parameters. The correlation coefficient between the predicted value and practical wrinkle grade was as high as 0.90. The results showed that the wrinkle resistance of cotton fabrics not only could successfully be predicted using the neural network model that has been trained, but also could precisely be done using the one that has not been learned.

1. はじめに

しわを生じないようにする布の性能を防しわ性 (Wrinkle Resistance) といい、衣服の着用性能であるイージーケアや審美性には重大な影響を与えている。アパレル産業には、開発された最新製品の重要な性能として、しわを付与することによって、その防しわ性を主観及

び客観評価を行っているが、その精度が低いため、高精度の客観評価を望まれている。しかしながら、今までの研究成果では主に次の問題点が指摘されている。

- ① 画像処理法では、光源、布の色、花柄などの影響を受け、濃い色や花柄のある布には不適當である。
- ② プロジェクタとスリット光の投影法では、明瞭な連続曲線の画像が得られないため、撮ったしわの映像と実際の輪郭とは歪みや反りが生じてしまう。
- ③ 超音波とレーザ測定法では、分解能が低く、明暗対比の大きい、また地模様や柄のある布には不適當である。

本論文では CCD レーザ変位計 (CCD-LDS) を用いた新しい方法により、しわの標準レプリカ (AATCC Test method 128) の 3 次元輪郭を測定し、しわの形状の定量的な評価方法としての有用性を検証する。さらに、見出した測定方法で、布の基本力学特性や組織構造的な特徴と布の防しわ性との関係を調べ、あらゆる布においては、布の防しわ性を数値化し、予測する手法について検討する。

2. 実験

2.1 測定システム

図 1 に示すように、測定システムは、CCD レーザ変位計 (Keyence LK-080)、A/D 伝送ボード (Keyence LK-2100)、防振台に設置された XY 移動ステージ (Oriental-motor SPF60B/86B)、移動ステージコントローラ (Oriental-motor LPG101) とコンピュータ (FUJITSU FMVC6/86LB) で構成される。CCD-LDS では一度に 1 ポイントだけ測定できる。また、測定されるサンプルの移動は CCD-LDS に対して比較的容易である。サンプルの全表面をすべて測定できるため、測定されるサンプルは、XY 移動ステージの上に設置され、移動ステージコントローラによって、X 方向及び Y 方向に沿って移動される。したがって、サンプルの表面の凹凸は、CCD-LDS 測定システムによって、XY 座標の三次元データとして計測できる。CCD-LDS によって得られた情報を A/D 伝送ボードによって変換した後、そのデータの収集と分析をコンピュータを用いて行う。

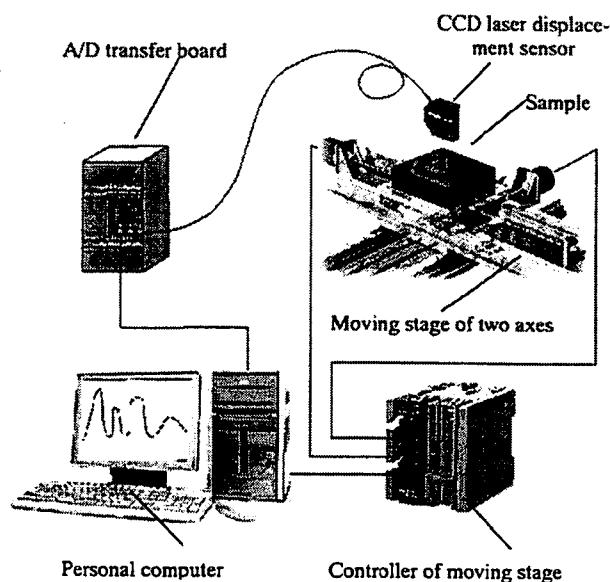


Fig.1 Laser Light Measuring System of fabric wrinkle.

2.2 試料の組織及び基本力学特性

22 種類の異なる市販の綿布 (原料: cotton 100%) を試料として用いた。表 1 には各試料の自重 (W)、厚さ (T)、線密度、織物の糸密度及びカバーファクタ C を測定した。また、試料の基本力学特性には、カトーテック (株) 製 KES-FB 型計測システムを用いて、引張り、

せん断、曲げなどの特性を 20 cm×20 cmサイズの綿布について測定を行った。

2.3 試料のしわ等級数の測定

まず、各綿布に対して、たてとよこ方向に 145 mm×300 mm 又は 300 mm×145 mm のサイズに 2 枚ずつカットし、4 枚の試料を得た。次に、その 4 枚の試料を Wrinkle Recovery Tester (Model 155)により、しわを付加させた。その後、しわを 1 時間回復させた試料を CCD レーザ変位計システム(図 1)を用い、それらの試料のしわ形状を 3 次元的に捕え、その表面形状のフラクタル次元 D_s の平均値を算出した。以上の過程を 22 枚すべての綿布について繰り返して行った。

3. ニューラルネットワークモデルによるしわ等級の予測方法

本研究では、幅広く利用されている階層型ネットワークにより布のしわ等級の予測を試みた。ニューラルネットワークモデルは、図 2 のような入力層、中間層および出力層を各 1 層以上もつ 3 層の階層型ネットワークである。ここで、正規化した試料のしわ等級値を直接教師データとして学習させたニューラルネットワークモデルを構築し、同様に正規化した試料の組織構造特徴値と基本力学特性値等という入力データから直接しわ等級の予測を試みることにした。中間層のユニット数は 1 層以上いくつでもよいが、そのユニット数が多いほど、計算値の 2 乗誤差は小さく、学習の収束率は遅くなる。ここで、中間層のユニット数を変化させた実験を行い、また、ニューラルネットの学習率、慣性項はそれぞれ 0.1, 0.9 と設定した。

ここで、ニューラルネットワークモデルによる綿布のしわ等級予測の適用性について検討するため、以下のとおり検討した。

- 1) 中間層のユニット数を変化し、全てのデータを学習した結果から、しわの等級を予測する。
- 2) 22 枚試料の中、19 枚のデータを学習した結果から、3 つの未学習試料のしわ等級を予測する。

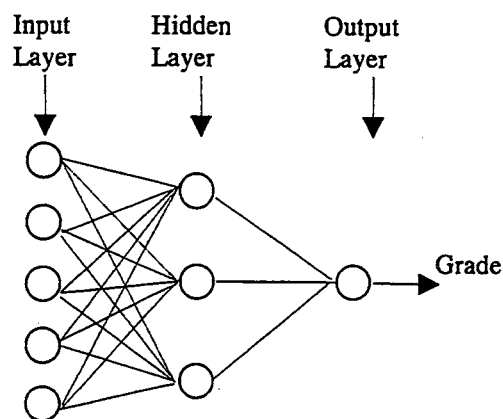


Fig.2 Neural network model.

4. 結果及び考察

4.1 フラクタル次元による標準レプリカの表面形状を解析・評価

図 3 には、しわ等級とフラクタル次元 D_s との対応関係を示す。図中で、横軸はしわの等級数を示す。縦軸は自然対数軸であり、しわ表面のフラクタル次元を示す。

各級のフラクタル次元 D_s は 2~3 である。これは、しわ表面の変動がフラクタルであり、面より複雑だが立体ほどではないことを示している。級数が大きくなるにつれて、 D_s は減少していることがわかった。また、1 級では最大 2.55 となり、フラクタル次元が大きいほど、しわの凹凸の表面積は大きくなり、しわの凹凸が激しくなる傾向があることが分かった。図より、フラクタル次元 D_s の自然対数値としわ等級の間に高い相関関係 ($R = 0.98$) がある。その時、しわの等級 W_g は以下の式によって求められる。

$$\ln(D_s) = -0.055W_g + 0.983 \quad (1)$$

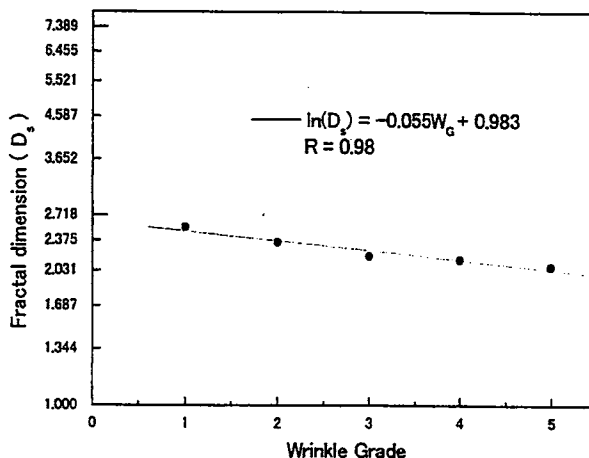


Fig.3 Fractal dimension of surface and wrinkle grade.

4.2 綿布の基本力学特性や組織構造的な特徴が布のしわ特性に与える影響

本研究では、各試料のしわ等級値 W_g に次のパラメータ LT, WT, RT, EMT, G, 2HG, 2HG5, 2HG5/G, B, 2HB, C, W など 12 種類を導入し、これらの力学量と布構造特徴を変数とし、相関分析により、それらの単相関係数を表 1 に示した。

Table 1 Correlation coefficient between wrinkle grade and mechanical & structural parameters.

	LT	WT	RT	EMT	G	2HG	2HG5	2HG5/G	B	2HB/B	C	W
W_g	0.33	0.13	0.24	0.03	0.21	0.16	0.09	-0.30	0.26	-0.33	0.48	0.35

表より、両者の相関が低かったが、布のしわ等級 W_g に対しては、カバーファクタ C との相関が最も高く、引張り特性パラメータ LT, 曲げ特性パラメータ 2HB/B, せん断特性パラメータ 2HG5/G および自重 W とともに比較的に高い相関が認められる。

4.3 ニューラルネットワークによるしわ等級(防しわ性)の予測

入力層の各ユニットには C, LT, 2HB/B, 2HG5/G および W のデータを、出力層のユニットには教師データ W_g として入力した。中間層ユニット数が学習精度に影響を及ぼすため、今回は中間層ユニット数 2, 3, 4 のものを試した。

ここで、ニューラルネットワークに 22 枚試料のデータを入力し、誤差関数 E_p を 0.1 から 0.005 まで 10 段階に分けて、学習させた。図 4 は、横軸に学習回数を、縦軸にニューラルネットワークの学習過程での教師データと予測値の 2 乗誤差値をプロットしたものである。図により、学習回数が増加すると 2 乗誤差が減少しているのが確認できる。中間層が 2 ユニットの時、2 乗誤差値は 0.10 以下では(つまり、誤差関数 E_p は 0.008 以下であるとき)、収束で

きなくなる。2乗誤差値は0.10のとき、中間層が3と4ユニットの場合では、学習回数はそれぞれ9341と3128回である。一般には2乗誤差の値が最も小さくなる中間層ユニット数が用いられる。ここで、中間層ユニット数4のとき、学習の収束率ははやく、2乗誤差も最も小さいことがわかった。したがって、中間層ユニット数4はこのニューラルネットワークに最適であることが分かった。

ここでは、試料19枚のデータを学習データとして、誤差関数 E_p が0.005とし、中間層ユニット数4で、学習回数8811回の場合の学習結果を綿布のしわ等級予測モデルとして用いることにした。

このモデルの再現性を検定するため、入力層には学習に用いたときと同じ19枚試料のデータをしわ等級予測モデルに与えて計算した。図5から、予測モデルにより得た各試料のしわ等級値と実験値の相関関係は0.90で、危険率0.1%であると分かった。図中の直線はしわ等級の実験値と予測値が等しい場合を示す。各試料の学習結果が直線から非常に近いことによって、このモデルの再現性は良好であることが分かった。

しわ等級予測モデルの有効性を調べるため、未学習の3枚綿布のデータを入力して、それらのしわ等級を予測した。それらの予測値、実験値、両値の差を図6に示した。図から、3枚の試料に対し、予測値と実験値の差はそれぞれ0.2、0.21、0.15であった。予測値は実験値よりやや高いが、このニューラルネットワークによる綿布のしわ等級(防しわ性)の予測が良好に行われていることが確認できた。

5. おわりに

CCD レーザ変位計という新しい方法を用いて、布のしわの3次元輪郭を測定し、しわの防

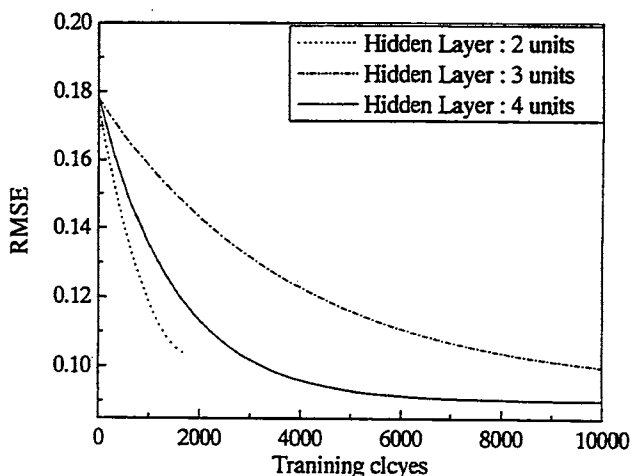


Fig.4 Root-mean-square error-value of neural network model.

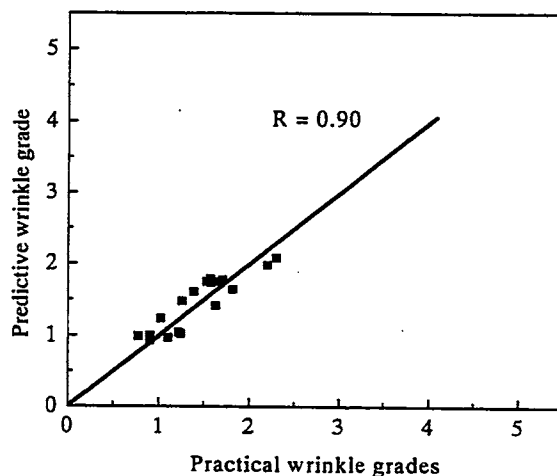


Fig.5 Relationship between the predicted and practical wrinkle grades.

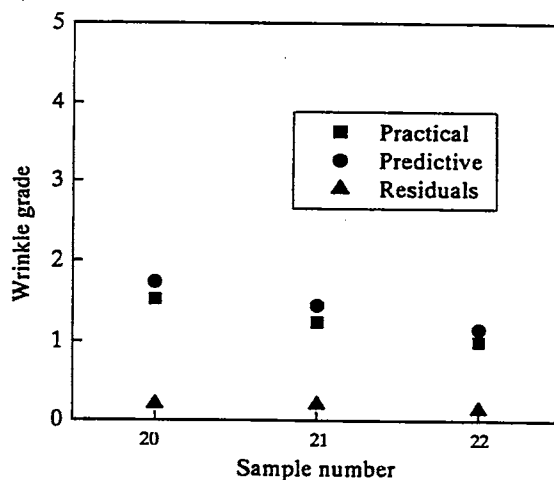


Fig.6 Scatter diagram of the predicted and practical wrinkle grades.

しわ性を定量的に評価することが可能である。得られた結論は次の通りである。

1) フラクタル次元 D_f の自然対数値としわ等級の間には高い相関関係 ($R = 0.98$) がある。したがって、フラクタル法により、CCD-LDS システムによる定量的評価の可能性が示された。

2) 綿布の力学特性や織物組織の構造特性中で、しわ等級に対しては、カバーファクタ C との相関が最も高く、引張り特性の直線性 LT 、曲げ剛性 B に対する曲げヒステリシス幅 $2HB$ の割合 $2HB/B$ 、せん断剛性 G に対するヒステリシス幅 $2HG5$ の割合 $2HG5/G$ および自重 W とも比較的高い相関が認められた。

3) 中間層は 4 ユニットである予測モデルが最適で、学習後のニューラルネットワークの再現性が高いことが分かった。この予測モデルを用いて、未学習試料について、しわ等級(防しわ性)評価を行ったところ、素早く十分精度よく予測することができた。

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関し、平成 16 年 1 月 27 日、第 1 回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文及び関連資料について詳細に検討した。平成 16 年 1 月 28 日の口頭発表後、第 2 回学位論文審査委員会を開催し、慎重に協議の結果、以下の通り判定した。

本論文では、CCD レーザー変位計測定システムにより、布の防しわ性の客観評価方法について詳細に検討し、光源、布の色、濃淡、花柄、などの影響を受けずに、防しわ性の客観評価が可能となった。初めに、しわの標準レプリカに対して、非接触的、自動的測定を行い、従来の画像処理法と比較して、しわ外観の客観評価法を提案した。画像処理法により従来得られていたしわに関するパラメータでは、不十分であり、実際のしわ等級との間にはずれが生じることを明らかにした。次に、フラクタル法を用いてしわの形態的特徴を定量的に解析し、フラクタル次元としわ等級との間に、再現性の高い客観評価式を誘導できた。更に、綿布の基本力学特性や組織構造的な特徴を定量的に解析し、布の防しわ性に与える影響を検討すると共に、ニューラルネットワークによる綿布のしわ等級の評価を試み、防しわ性の予測モデルを構築した。以上のように本論文は独創性に富み、得られた成果は新しい布開発へと応用可能であり、その工学的価値は高いと評価出来る。

以上より、本論文は博士（工学）論文に値すると判定する。